



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Gebrauchsmusterschrift**
⑩ **DE 299 23 485 U 1**

⑤ Int. Cl. 7:
F 03 D 1/06
F 03 D 3/06
F 03 D 11/00
F 03 D 11/04
C 09 D 7/00
C 08 J 7/04

⑳ Aktenzeichen: 299 23 485.1
⑦ Anmeldetag: 9. 12. 1999
aus Patentanmeldung: PCT/EP99/09691
④ Eintragungstag: 7. 12. 2000
③ Bekanntmachung
im Patentblatt: 11. 1. 2001

DE 299 23 485 U 1

⑥ Innere Priorität:

298 22 003. 2	09. 12. 1998
199 29 386. 4	28. 06. 1999
199 47 211. 4	01. 10. 1999
199 51 346. 5	25. 10. 1999

⑦ Inhaber:

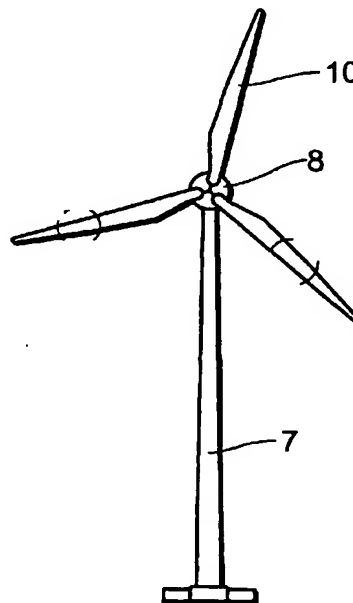
Wobben, Aloys, 26607 Aurich, DE

⑦ Vertreter:

Eisenführ, Speiser & Partner, 28195 Bremen

⑤ Rotorblatt für eine Windenergieanlage

⑤ Windenergieanlagen-Rotorblatt, wobei das Rotorblatt eine Oberfläche nach Art einer "Haifischhaut" aufweist, die wenigstens auf einer Teilfläche des Rotorblatts aufgebracht ist.



DE 299 23 485 U 1

Best Available Copy



Bremen
Patentanwälte
European Patent Attorneys
Dipl.-Ing. Günther Eisenführ
Dipl.-Ing. Dieter K. Speiser
Dr.-Ing. Werner W. Rabus
Dipl.-Ing. Jürgen Brügge
Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt
Dipl.-Ing. Klaus G. Göken
Jochen Ehlers
Dipl.-Ing. Mark Andres

Rechtsanwälte
Ulrich H. Sander
Sabine Richter

Martinistrasse 24
D-28195 Bremen
Tel. +49-(0)421-36 35 0
Fax +49-(0)421-337 8788 (G3)
Fax +49-(0)421-328 8631 (G4)
mail@eisenfuhr.com

Hamburg
Patentanwalt
European Patent Attorney
Dipl.-Phys. Frank Meier

Rechtsanwälte
Christian Spintig
Rainer Böhm
Silja J. Greischel*
*Maître en Droit

München
Patentanwälte
European Patent Attorneys
Dipl.-Wirt.-Ing. Rainer Fritsche
Lbm.-Chem. Gabriele Leißler-Gerstl
Patentanwalt
Dipl.-Chem. Dr. Peter Schuler

Berlin
Patentanwälte
European Patent Attorneys
Dipl.-Ing. Henning Christiansen
Dipl.-Ing. Joachim von Oppen
Dipl.-Ing. Jutta Kaden
Dipl.-Ing. Mathias Karlhuber

Alicante
European Trademark Attorney
Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt

Bremen, den 24. Juli 2000

Unser Zeichen: W 2185 KGG/esa

Anmelder/Inhaber: WOBGEN, Aloys
Amtsaktenzeichen: Gebrauchsmusterabzweigung

Aloys Wobben, Argestraße 19, 26607 Aurich

Rotorblatt für eine Windenergieanlage

Rotorblätter für Windenergieanlagen sind in vielfacher Form bekannt. An einer Windenergieanlage stellen die Rotoren bzw. deren Rotorblätter die Hauptschallquelle dar. Aus akzeptanz- und lärmschutzrechtlichen Gründen soll/muß darauf hingearbeitet werden, die Schallemissionen so gering wie möglich zu halten, da Windenergieanlagen auch oft in der Nähe von Wohngebäuden aufgestellt werden. Die sich mit einer Windenergieanlage bzw. einem Windenergiekonverter bislang einstellenden Schallemissionen führen auch dazu, daß Windenergieanlagen aufgrund der Lärmentstehung Widerständen aus Bevölkerungskreisen entgegenstehen und sich diese Anlagen deswegen teilweise schwer oder gar nicht durchsetzen können, da die Genehmigungsbehörden wegen der bestehenden Umweltauflagen - auch Lärm ist ein Umweltbelastungsfaktor - die Genehmigung von Windenergieanlagen verweigern.

Es sind bereits vielfach Vorschläge gemacht worden, ein Rotorblatt einer Windenergieanlage konstruktiv so zu verändern, daß sich eine Schallreduktion einstellt. Beispielfhaft sei hier auf die Dokumentation, wie sie in EP-A-O 652 367 oder DE 196 14 420.5 veröffentlicht ist, verwiesen.

Allerdings ist die Reduzierung des Schalls durch konstruktive Maßnahmen am Rotorblatt nur begrenzt möglich.

Es ist daher das Ziel der Erfindung, die Schallemission von Windenergieanlagen weiter zu verbessern.

Dieses Ziel wird erfindungsgemäß mit einem Rotorblatt mit den Merkmalen nach Anspruch 1 erreicht. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den weiteren Ansprüchen beschrieben.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß, wenn die Oberfläche eines Rotorblattes wenigstens teilweise mit einer flüssigkeits- und/oder eisabweisenden Schicht versehen wird, das Rotorblatt auch rauher wird. Anstatt also das Rotorblatt mit einer Beschichtung aus einem Farbanstrich zu versehen, welcher dem Rotorblatt oberseitig eine größtmögliche Glätte verleiht, wird genau das Gegenteil gemacht, nämlich eine in der Mikrostruktur rauhe Oberfläche gegeben. Solche Oberflächen sind beispielsweise auch von Lacken oder Beschichtungen bekannt, die die Funktionalität des sogenannten "Lotuseffekts" erfüllen, so daß Wasser/Eis nur schwach an der Oberfläche haftet. Hierbei besteht die Beschichtung, die aus einem Farbanstrich geschaffen wird aus einer Art Nagelbett in Nanogröße. Diese Nano-Nägel des Nagelbetts rauhen die Oberfläche des Rotorblattes nicht nur auf, sondern verleihen der Oberfläche auch eine geringere Härte, weil die einzelnen Nano-Nägel auch in ihrer Längsrichtung verformbar sind, bzw. in ihrer Struktur erheblich weicher sind, als die Glasfaserbeschichtung eines Rotorblattes.

Somit bewirkt die "Lotus"-Beschichtung auf dem Rotorblatt, daß die sich auf der Oberseite des Rotorblattes ausbildenden Wirbel durch die weiche Struktur der Oberfläche gedämmt werden bzw. den Luftwirbeln Energie entzogen wird, so daß insgesamt - wie festgestellt worden ist - der sich beim Rotieren des Rotorblattes einstellende Schall reduziert wird.

Als selbstreinigende Beschichtung bzw. Anstrich, mit dem eine erhebliche Schallreduzierung eines Rotorblattes im Betrieb erreicht werden kann, sei die Mikro-Silikonfarbe "Lotusan" (Marke der Firma ispo GmbH, ein Unternehmen der Dyckerhoff-Gruppe) genannt. Diese Mikro-Silikonfarbe wird von dem Unternehmen unter der Artikelbezeichnung Nr. 1950 vertrieben und als schmutz- und wasserabweisend beschrieben. Es ist auch möglich, die Beschichtung durch eine Folie auszubilden, deren Oberflächenstruktur eine wasserabweisende Schicht bildet. Selbstreinigende Oberflächen (und ihre Herstellung) sind auch aus EP 0 772 514 bekannt.

Die Erfindung ist beispielhaft auch anhand der Fig. 1 und 2 erläutert.

Fig. 1 zeigt die Ansicht einer Windenergieanlage mit einem Rotor, welcher drei Rotorblätter 10 aufnimmt. In Fig. 1 ist eine Windenergieanlage vom Typ E-40 der Firma Enercon dargestellt.

Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt eines Rotorblattes im Querschnitt. Hierbei ist zu sehen, daß sich auf der Oberfläche eine Beschichtung 1 bzw. ein Anstrich befindet, welcher ein Nagelbett 2 bildet, welches aus "Nano-Nägeln" 3 besteht. Der Abstand A zwischen den Nano-Nägeln liegt im Bereich von etwa 2 bis 250 μm und die Höhe H der Nano-Nägel liegt im Bereich von etwa 2 bis 250 μm . Die Nano-Nägel bestehen zum Beispiel aus hydrophoben Polymeren oder haltbar hydrophobierten Materialien. Besonders gute Ergebnisse zur Verminderung des durch das Rotorblatt erzeugten Schalls werden erzielt, wenn die Nano-Nägel eine Höhe von etwa 5 bis 60 μm aufweisen und ihr Abstand untereinander in etwa im Bereich von 5 bis 110 μm liegt.

Die Beschichtung des Rotorblattes mit einer Mikro-Silikonfarbe (zum Beispiel "Lotusan") hat auch zur Folge, daß Wasser (H_2O) bzw. andere Flüssigkeiten nicht auf der Rotorblattoberfläche haften bleiben. Somit wird auch jedem Eisansatz von vornherein die Grundlage entzogen.

Vorzugsweise ist die Beschichtung nicht zur Gänze auf dem Rotorblatt aufgebracht, sondern nur im letzten Drittel (vom Rotor aus gesehen) des Rotorblattes und dort bevorzugt im Bereich der Rotorblattspitze bzw. an der Rotorblatthinterkante und -vorderkante.

Durch die Ausbildung der Nano-Nägel 3 weist die Oberfläche des Rotorblattes eine sehr große Unregelmäßigkeit bzw. Rauigkeit auf, so daß die Massenanziehung von Wassertropfen 4 (Moleküle) und der Rotorblattoberfläche nicht ausreicht, daß die Wassermoleküle daran haften bleiben. Die Nano-Nägel halten somit die Wasser-Fremdmoleküle quasi auf Abstand zur Oberfläche 6 des Rotorblattes, wodurch die Anziehungskraft zwischen den Wassermolekülen und der Oberfläche drastisch verringert ist.

Gleichzeitig haben die Nano-Nägel 3 für die Schallreduzierung quasi die Funktion eines "(Schall-)Stoßdämpfers", weil Wirbel (nicht dargestellt), die sich auf der Oberfläche des Rotorblattes naturgemäß ausbilden und die für die Schallerzeugung sorgen, auf die Nano-Nägel treffen, die ihrerseits durch ihre relativ große Beweglichkeit, verglichen zur starren Glasfaserstruktur des Rotorblattes, die Energie der Wirbel aufnehmen können und somit den Luftwirbeln Energie entziehen, so daß der Schall reduziert wird.

Die Beschichtung kann durch einen Anstrich oder durch eine aufgeklebte Folie gebildet werden.

Die vorgenannte Beschichtung kann nicht nur auf einem Rotorblatt oder Teilen hiervon aufgebracht werden, sondern auch auf anderen Teilen der Windenergieanlage,

beispielsweise am Turm 7 der Windenergieanlage und/oder an der Verkleidung 8. Diese Verkleidung - üblicherweise auch Gondel genannt - befindet sich am Kopfende des Turms und umgibt regelmäßig den Generator der Windenergieanlage oder weitere Teile der Windenergieanlage, welche nicht direkt den Umwelteinflüssen ausgesetzt werden sollen. Die Beschichtung kann hierbei nicht nur außen am Turm bzw. des Rotorblatts und/oder der Verkleidung angebracht werden, sondern auch innenseitig. Hierzu ist es vorteilhaft, wenn innen- und/oder außenseitig Abtropfrinnen (nicht dargestellt) vorgesehen sind, über die beispielsweise das am Turm und/oder an der Verkleidung ablaufende Wasser aufgefangen, gesammelt und kontrolliert abgeführt werden kann. Solche Rinnen verlaufen bevorzugt im wesentlichen senkrecht (oder leicht geneigt hierzu) zur Turmlängsachse an der Turmwandung und die aufgefangene Flüssigkeit wird über ein angeschlossenes Fallrohr abgeführt.

Die Reduzierung der Schallentwicklung kann alternativ oder in Ergänzung zu der vorbeschriebenen Lösung auch dadurch erreicht werden, daß das Rotorblatt eine spezielle Oberfläche aufweist nach Art einer "Haifischhaut". Diese Oberfläche kann durch eine Folienbeschichtung geschaffen werden. Eine solche Folie wird beispielsweise von der Firma 3M unter der Typenbezeichnung 3M 8691 Drag Reduction Tape (Riblet Tape) vertrieben. Diese Folie wurde im Auftrag der Luftfahrtindustrie mit dem Ziel entwickelt, die Einsparung von Brennstoff bei Flugzeugen durch diese spezielle "Haifischhaut"-Oberfläche zu erreichen.

Die Struktur einer solchen "Haifischhaut-Folie" ist beispielsweise aus Veröffentlichungen von Dittrich W. Bechert (Abteilung Turbulenzforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)) bekannt. Die Struktur einer "Haifischhaut-Folie" (Beschichtung) ist unter anderem auch in EP 0 846 617, DE-C-36 09 541 oder DE-C-34 14 554 detailliert beschrieben. Zur Vermeidung von Wiederholungen sei der Inhalt aller vorbeschriebenen Druckschriften auch Inhalt der vorliegenden Anmeldung.

Da der Schall bei Flugzeugen im wesentlichen durch die Triebwerke bestimmt ist, wird der von den Flugzeugen hervorriefene Schall nicht reduziert, zumal sich die Schallpegel, die aufgrund der aerodynamischen Begebenheiten am Flugzeug (Tragfläche) erzeugt werden, unterhalb der Mithörschwelle liegen und deshalb nicht wahrgenommen werden können.

Eine Folie nach dem Prinzip von Haifischhaut (unter einer entsprechenden Oberfläche) wurde von einem Ingenieurteam um Herrn Dr. Dietrich W. Bechert der Abteilung Turbulenzforschung des deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) an der TU Berlin entwickelt. Bei einer solchen "Haifischhaut"-Folie weist die Oberfläche der Folie feine, in Strömungsrichtung verlaufende Rillen 11 auf. Diese Rillen sind nicht durchgängig, sondern auf Tableaus (Schuppen) 12 aufgebracht, welche ihrerseits versetzt zueinander angeordnet sind, wie dies in Figur 3 dargestellt ist. In dem dargestellten Beispiel weist eine "Schuppe" 12 fünf Rillen 11 auf, die über eine unterschiedlich große Länge verfügen und mit ihrer Längsrichtung senkrecht (oder parallel) zum Radius r des Rotorblattes einer Windenergieanlage ausgerichtet sind. Die Höhe H der Rillen 11 (bzw. Rippen) beträgt hierbei etwa 30 bis 70% des Rillenabstands s und vorzugsweise sind die Rillen (Rippen) keilförmig ausgebildet mit einem Keilwinkel von etwa 5 bis 60°.

Der normierte seitliche Rippenabstand der Haifischhaut-Folien-Oberfläche beträgt hierbei gemäss der Formel $s^+ = (s / \nu) \cdot \sqrt{(\tau_0 / \rho)}$ 12 bis 22, wobei s der seitliche Rippenabstand, τ_0 die Wandspannung einer glatten Referenzoberfläche, die der gleichen Strömung ausgesetzt ist, ρ die Dichte des Strömungsmediums (Luft) und ν die kinematische Zähigkeit des Strömungsmediums (Luft) ist. Hierbei ist bevorzugt der normierte Rippenabstand s^+ auf Umfangsgeschwindigkeit (oder Winkelgeschwindigkeit) eines Rotorblattes einer Windenergieanlage im Nennbetrieb abgestimmt. Vorzugsweise ist hierbei auf die Umfangsgeschwindigkeit der Rotorblattspitze bzw. Rotorblattspitzenbereichs (etwa 5 bis 25% der Rotorblattlänge) abgestimmt.

Der Rillenabstand s beträgt dabei etwa 0,001 bis 0,15 mm.

Es ist auch möglich, über die gesamte Rotorblattoberfläche Oberflächenstrukturen mit einem unterschiedlichen Rillenabstand und/oder Schuppenabstand vorzusehen, so dass die Abstimmung des normierten Rillenabstands stets auf die jeweilige Umfangsgeschwindigkeit des Rotors im Nennbetrieb gegeben ist.

Vorzugsweise weisen auch die seitlichen Ansätze der Rippen einen Krümmungsradius von maximal 50%, vorzugsweise maximal 20% des seitlichen Rippenabstands s auf.

Es ist auch vorteilhaft, wenn die Oberfläche der Haifischhaut-Folie zwischen den Rippen einen Krümmungsradius von mindestens 200% des seitlichen Rippenabstands aufweist. Dies ist in einer vergrößerten Querschnittsansicht in Figur 4 dargestellt.

Erste Versuche haben gezeigt, dass die Schallabgabe eines Rotors mit Rotorblättern, die die vorbeschriebene Haifischhaut-Folie aufweisen (und damit auch die entsprechende beschriebene Oberfläche) um etwa 0,2 bis 3 dB (je nach Umfangsgeschwindigkeit und Böenverhältnissen) reduziert werden konnten.

Eine zu den vorbeschriebenen Schallreduktions-Maßnahmen alternative oder ergänzende Maßnahme kann auch darin bestehen, Teilbereiche eines Rotorblattes, insbesondere die Rotorblattvorderkante mit einem Erosionsschutzlack zu versehen. Als solcher Erosionsschutzlack kann beispielsweise ein lösemittelhaltiger 2-Komponenten-PUR-Lack mit teflonähnlichen Oberflächeneigenschaften vorgesehen werden. Bislang werden auf Rotorblattvorderkanten Erosionsschutzfolien aufgeklebt, um die Erosion der Rotorblattvorderkante durch Schmutzteilchen/Regen/Hagel etc. zu verhindern. Das Aufkleben dieser Folie ist sehr aufwendig und muß mit größter Sorgfalt durchgeführt werden, um ein baldiges Ablösen im Betrieb zu verhindern. Trotz größter Sorgfalt kommt es dann doch immer wieder vor, daß sich die aufge-

brachten Folien lösen, was unter Umständen auch zur Erhöhung des Schallpegels im Betrieb führen kann, in jedem Fall aber hohe Servicekosten verursacht, da die abgelösten bzw. abstehenden Folienteile (Folienecken) wieder am Rotorblatt neu befestigt werden müssen oder neue Folien angebracht werden müssen.

Als Erosionsschutzlack, mit welchem die Probleme der bekannten Erosionsschutzfolie beseitigt werden können, eignet sich eine Gleitversiegelung, wie sie von der Firma Coelan unter der Kennzeichnung VP 1970M angeboten wird. Hierbei handelt es sich um einen lösemittelhaltigen 2-Komponenten-PUR-Lack mit teflonähnlichen Oberflächeneigenschaften sowie folgenden Charakteristika:

Festkörpergehalt:	Komponente A	: ca. 60%
	Komponente B	: ca. 5%
	Mischung	: ca. 32%
Flammpunkt:	-22°C	
Dichte:	Komponente A	: 1,11 g/cm ³ (20°C)
	Komponente B	: 0,83 g/cm ³ (20°C)
Viskosität:	Komponente A	: ca. 80 s DIN 4 (23°C)
	Komponente B	: < 10 s DIN 4 (23°C)
Verarbeitungszeit:	ca. 16 h im geschlossenen Behälter	
Hautbildung:	ca. 30 min	(20°C; 50% relative Luftfeuchtigkeit)
Klebfrei nach:	ca. 2 h	(20°C; 50% relative Luftfeuchtigkeit)
Durchtrocknung:	ca. 96 h	(20°C; 50% relative Luftfeuchtigkeit)

25.07.00

- 9 -

Pendelhärte: 147 Sekunden (nach König; DIN 53157)

Schnellbewitterung: 2350 h UV-A mit dem Q-Panel-Gerät bestanden
(QUV-Test) 2430 h UV-B mit dem Q-Panel-Gerät bestanden

Mischungsverhältnis: Komponente A : 100 Gewichtsteile
Komponente B : 100 Gewichtsteile

Dieser Lack ist für den Bootsbau entwickelt worden, seine Verwendung bei Rotorblättern zur Verringerung der Geräuschentwicklung ist bislang jedoch noch nie vorgeschlagen worden und sehr vorteilhaft, weil hierdurch die bekannte Erosionsschutzfolie ersetzt und ihre Probleme beseitigt werden können.

DE 299 23 485 U1

A n s p r ü c h e

1. Windenergieanlagen-Rotorblatt, wobei das Rotorblatt eine Oberfläche nach Art einer "Haifischhaut" aufweist, die wenigstens auf einer Teilfläche des Rotorblatts aufgebracht ist
2. Windenergieanlagen-Rotorblatt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche nach Art einer Haifischhaut wenigstens dort aufgetragen ist, wo bei Rotieren des Rotorblatts wesentlich der Schall erzeugt wird.
3. Windenergieanlagen-Rotorblatt mit wenigstens einer teilweisen Beschichtung, welche dem Rotorblatt in seiner Mikrostruktur eine sehr große Unebenheit verleiht, so daß Wassertropfen und/oder ein Eisansatz (Eiskristalle) keinen Halt auf der Rotorblattoberfläche finden.
4. Rotorblatt für eine Windenergieanlage, wobei die Oberfläche des Rotorblattes wenigstens teilweise mit einer Beschichtung versehen ist, so daß die Oberfläche des Rotorblattes im beschichteten Bereich weicher ist als im unbeschichteten Bereich.
5. Rotorblatt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht eine Oberflächenstruktur aus Erhebungen und Vertiefungen aufweist, daß der Abstand zwischen den Erhebungen im Bereich von 2 bis 250 μm und die Höhe der Erhebungen im Bereich von 2 bis 250 μm und bevorzugt die Erhebungen aus hydrophoben Polymeren oder haltbar hydrophobierten Materialien bestehen, welche nicht durch natürlichen Regen ablösbar sind.
6. Windenergieanlage mit einem Rotorblatt nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

25.07.00

- 11 -

7. Windenergieanlage bestehend aus einem Rotor mit mindestens einem Rotorblatt, einem Turm sowie einer Verkleidung (Gondel), welche wenigstens einen Generator der Windenergieanlage umgibt, wobei wenigstens eines der vorgenannten Elemente wie Rotorblatt, Turm (innen- oder außenseitig) und/oder Verkleidung (Gondel) mit einer wasserabweisenden Schicht versehen ist, die wenigstens auf einer Teilfläche des Rotorblattes, des Turms und/oder der Verkleidung aufgebracht ist.

8. Rotorblatt, insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf Teilbereiche des Rotorblattes, vorzugsweise auf die Rotorblattvorderkante ein Erosionsschutzlack aufgebracht wird, welcher teflon-ähnliche Oberflächeneigenschaften aufweist.

9. Rotorblatt nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Erosionsschutzlack ein lösemittelhaltiger 2-Komponenten-PUR-Lack ist.

DE 299 23 485 U1

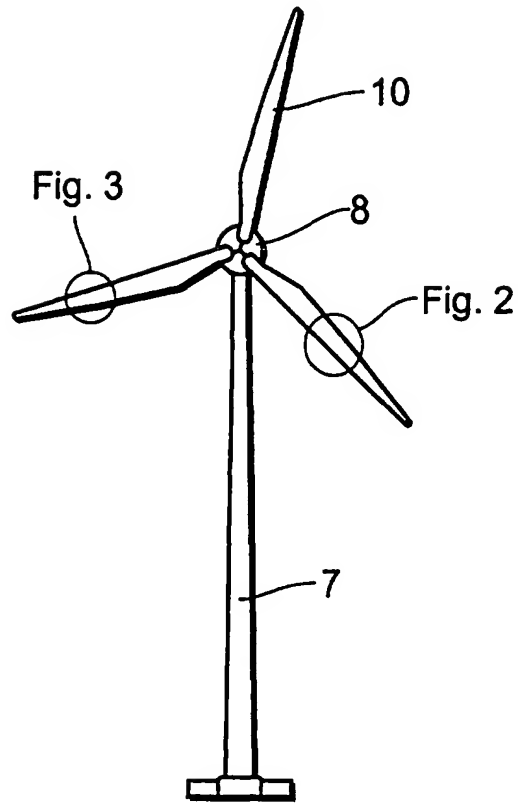


Fig. 1

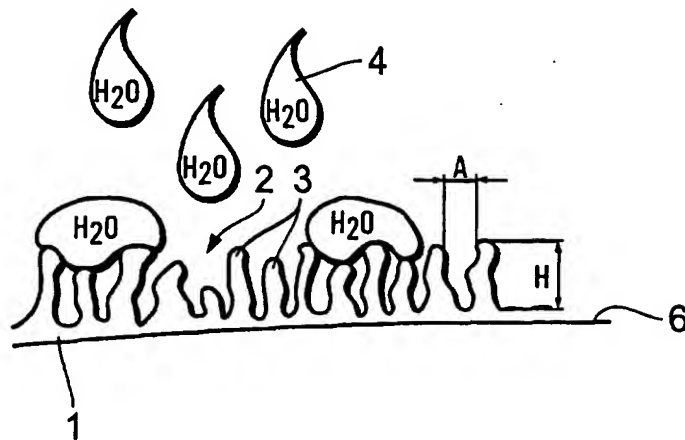


Fig. 2

25.07.00

2/3

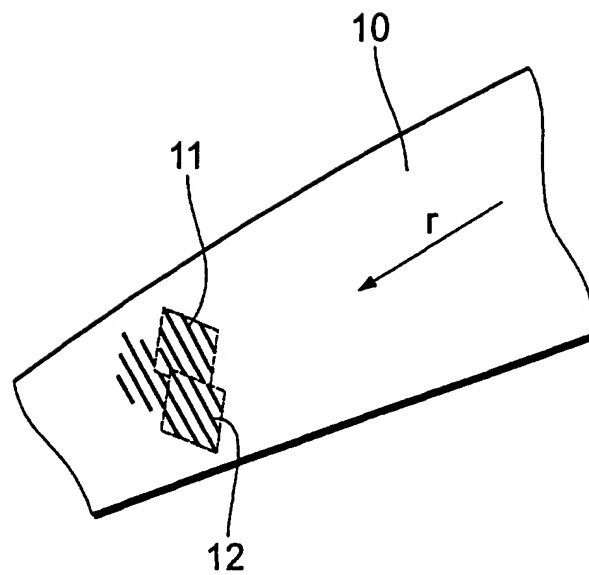


Fig. 3

DE 299 23 485 U1

25.07.00

3/3

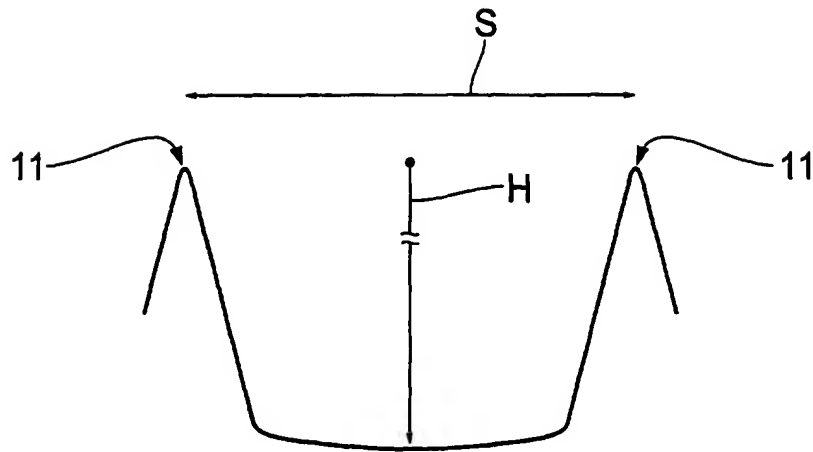


Fig. 4

DE 299 23 485 U1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.